

問題は から までで、72 ページから 82 ページまであります。確かめなさい。

解答は解答記号 から までにマークしなさい。

I 次の各文中の空欄 ～ に入れるのに最も適当なものを、それぞれの解答群から選び、その番号をマークせよ。同じ解答群から複数選択する場合は、同じ解答を 2 回以上選んでもよい。

- (1) 図 1 のように、原点 O から時刻 $t = 0$ に初速度 $\vec{v}_0 = (v_{0x}, v_{0y})$, 仰角 $\theta_0 \left(0 < \theta_0 < \frac{\pi}{2}\right)$ でボールを打ち出す。ここで床は x 軸を含む水平で滑らかな面で、ボールと床の間の反発係数を $e_A (< 1)$ とし、床から鉛直上向きに y 軸を設定する。ボールは簡単のため質点とし、空気の影響は考えないものとする。また重力加速度の大きさを g とする。必要な場合は次の公式を使って良い： $\cos 2\theta = 2 \cos^2 \theta - 1$, $\sin 2\theta = 2 \cos \theta \sin \theta$ 。

さて、打ち出されたボールは、高さ H_0 に達した後降下し、原点から距離 L_0 だけ進んだ点 ($x = L_0$) に落下し、速度 $\vec{v}_1$, 仰角 θ_1 で跳ね返った。そして高さ H_1 に達した後降下し、跳ね返った点から距離 L_1 だけ進んだ点 ($x = L_0 + L_1$) に落下した。以降同様に、 i 回目に速度 $\vec{v}_i$, 仰角 θ_i で跳ね返り、高さ H_i に達した後降下し、最後に跳ね返った点から距離 L_i だけ進んだ点 $\left(x = \sum_{k=0}^i L_k\right)$ に落下したものとする。

このボールの運動における規則性を探ってみよう。

まず、ボールが最初に落下するまでを調べる。 x 方向の初速度 v_{0x} は、初速度の大きさ $v_0 (= |\vec{v}_0|)$ を用いて と書ける。その後の時刻 t における x 方向の速度 $v_x(t)$ は となる。 y 方向の初速度 v_{0y} は であるが、重力が働くため、時刻 t における速度 $v_y(t)$ は と書ける。さらに $t = 0$ での位置が原点であったことを思い出すと、時刻 t における高さ $y(t)$ は となることわかる。落下する時刻 t_0 は であり、到達距離 L_0 は , 落下するまでに達する最高点の高さ H_0 は となる。

次に、1 回跳ね返ってから再び床に落下するまでの運動を調べよう。跳ね返った直後の速度 $\vec{v}_1 = (v_{1x}, v_{1y})$ は、非弾性衝突であるため、 $v_{1x} =$, $v_{1y} =$ と書ける。したがって、仰角 θ_1 については最初に打ち出したときの仰角 θ_0 と $\tan \theta_1 =$ $\times \tan \theta_0$ という関係があることがわかる。すると、あとは跳ね返る前と同様にして、次に落下するまでの距離 L_1 が $\times L_0$, 最高点の高さ H_1 が $\times H_0$ となることがただちにわかる。そして、跳ね返ってから再び跳ね返るまでの時間 t_1 は $\times t_0$ となる。

以上の結果から、 i 回目に跳ね返ってから $i+1$ 回目に跳ね返るまでにかかる時間 t_i は $\times t_0$ であり、その間に進む距離 L_i は $\times L_0$ 、最高点の高さ H_i は $\times H_0$ 、仰角 θ_i は $\times \tan \theta_0$ となり、最初に跳ね返るまでの量と反発係数の組み合わせですべて書けることがわかる。

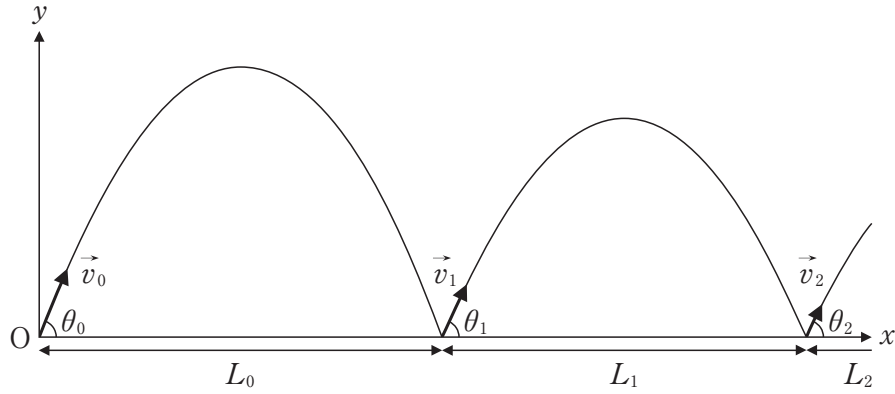


図 1

空欄 ～ の解答群

- | | | | |
|--|--|-------------------------------|-------------------------------|
| ① $v_0 \sin \theta_0$ | ② $v_0 \cos \theta_0$ | ③ $v_0 \sin \theta_0 \cdot t$ | ④ $v_0 \cos \theta_0 \cdot t$ |
| ⑤ $-gt + v_0 \sin \theta_0$ | ⑥ $-gt + v_0 \cos \theta_0$ | | |
| ⑦ $-\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin \theta_0 \cdot t$ | ⑧ $-\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \cos \theta_0 \cdot t$ | | |

空欄 の解答群

- | | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| ① $\frac{v_0}{g} \sin \theta_0$ | ② $\frac{2v_0}{g} \sin \theta_0$ | ③ $\frac{v_0}{g} \sin 2\theta_0$ | ④ $\frac{2v_0}{g} \sin 2\theta_0$ |
| ⑤ $\frac{v_0}{g} \cos \theta_0$ | ⑥ $\frac{2v_0}{g} \cos \theta_0$ | ⑦ $\frac{v_0}{g} \cos 2\theta_0$ | ⑧ $\frac{2v_0}{g} \cos 2\theta_0$ |

空欄 と の解答群

- | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| ① $\frac{v_0^2}{g} \sin \theta_0$ | ② $\frac{v_0^2}{2g} \sin \theta_0$ | ③ $\frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta_0$ | ④ $\frac{v_0^2}{2g} \sin 2\theta_0$ |
| ⑤ $\frac{v_0^2}{g} \cos \theta_0$ | ⑥ $\frac{v_0^2}{2g} \cos \theta_0$ | ⑦ $\frac{v_0^2}{g} \cos 2\theta_0$ | ⑧ $\frac{v_0^2}{2g} \cos 2\theta_0$ |
| ⑨ $\frac{v_0^2}{2g} \sin^2 \theta_0$ | ⑩ $\frac{v_0^2}{2g} \cos^2 \theta_0$ | | |

空欄 ケ ～ コ の解答群

- | | | |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| ① $v_0 \sin \theta_0$ | ② $e_A v_0 \sin \theta_0$ | ③ $e_A^2 v_0 \sin \theta_0$ |
| ④ $v_0 \cos \theta_0$ | ⑤ $e_A v_0 \cos \theta_0$ | ⑥ $e_A^2 v_0 \cos \theta_0$ |
| ⑦ $v_0 \tan \theta_0$ | ⑧ $e_A v_0 \tan \theta_0$ | ⑨ $e_A^2 v_0 \tan \theta_0$ |

空欄 サ ～ セ の解答群

- | | | | | |
|---------------------|-------------------|-----|---------|-----------|
| ① $\frac{1}{e_A^2}$ | ② $\frac{1}{e_A}$ | ③ 1 | ④ e_A | ⑤ e_A^2 |
|---------------------|-------------------|-----|---------|-----------|

空欄 ソ ～ ツ の解答群

- | | | | | |
|----------------------------|-------------------------|---------------|------------------|--------------|
| ① $\frac{1}{e_A^{2i}}$ | ② $\frac{1}{e_A^i}$ | ③ 1 | ④ e_A^i | ⑤ e_A^{2i} |
| ⑥ $\frac{1}{e_A^{2(i+1)}}$ | ⑦ $\frac{1}{e_A^{i+1}}$ | ⑧ e_A^{i+1} | ⑨ $e_A^{2(i+1)}$ | |

(2) 次に、図2のように $x = P (< L_0)$ の位置に x 軸に垂直に板を立てた。この板とボールの間の反発係数を $e_B (< 1)$ とし、板は十分滑らかとする。

先と同様に、原点 O から時刻 $t = 0$ に初速度 $\vec{v}_0 = (v_{0x}, v_{0y})$ 、仰角 θ_0 でボールを打ち出したところ、板は L_0 より手前にあるため、ボールはこの板に当たり、跳ね返って $x = L'$ の位置に落下した。この位置を求めてみよう。

板がない場合、床に落下する時刻は t_0 であった。床に落下する時刻は y 方向の運動で決まるが、立てた板は滑らかであるため、 y 方向の運動には影響を与えない。従って板がある場合も床に落ちる時刻は変わらないはずである。一方、板に垂直な方向、すなわち x 方向には跳ね返りの影響が現れる。ボールが $x = P$ に到達したときの時刻を t_P とすると、板がない場合にボールが $x = P$ から $x = L_0$ まで進む時間と、板があって跳ね返り、ボールが $x = P$ から $x = L'$ に戻る時間はどちらも $t_0 - t_P$ で等しい。また、板で跳ね返った直後の x 方向の速度の大きさ v_0' は テ である。これらを用いると、 L' が板の位置 P の関数として求められる。ここで、 $P = \frac{L_0}{2}$ のときの L' を具体的に計算すると、 $L' =$ ト となる。

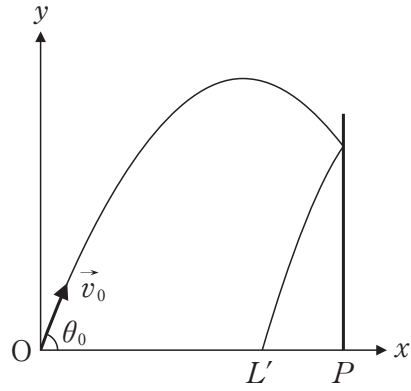


図 2

空欄 テ の解答群

- | | | |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| ① $v_0 \sin \theta_0$ | ② $e_B v_0 \sin \theta_0$ | ③ $e_B^2 v_0 \sin \theta_0$ |
| ④ $v_0 \cos \theta_0$ | ⑤ $e_B v_0 \cos \theta_0$ | ⑥ $e_B^2 v_0 \cos \theta_0$ |

空欄 ト の解答群

- | | | |
|--|---|--|
| ① $e_B \frac{v_0^2}{g} \sin \theta_0$ | ② $e_B \frac{v_0^2}{2g} \sin \theta_0$ | ③ $e_B \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta_0$ |
| ④ $e_B \frac{v_0^2}{2g} \sin 2\theta_0$ | ⑤ $(1 - e_B) \frac{v_0^2}{g} \sin \theta_0$ | ⑥ $(1 - e_B) \frac{v_0^2}{2g} \sin \theta_0$ |
| ⑦ $(1 - e_B) \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta_0$ | ⑧ $(1 - e_B) \frac{v_0^2}{2g} \sin 2\theta_0$ | |

〔以下計算用余白〕

Ⅱ 次の各文中の空欄 ～ に入れるのに最も適当なものを、それぞれの解答群から選び、その番号をマークせよ。同じ解答群から複数選択する場合は、同じ解答を2回以上選んでもよい。

図3のように、鉛直上向きに磁束密度 B の磁場がかかっている水平な台の上に、起電力 E の直流電源と抵抗値 R の抵抗器を針金でつなぎ、この針金の上を滑らかに移動でき、質量を無視できる金属棒を置いた回路を作成した。金属棒を置いた針金間の距離は l であり、金属棒が移動できる範囲では一定である。金属棒には質量 m のおもりを軽い糸でつないであり、糸はたるむことはなく、また糸と台の間の摩擦は無視できるものとする。図のように電流 I 、金属棒の速度 v 、おもりの加速度 a の向きを定め、値が負であれば矢印と逆の向きであるとして、物体の運動について調べよう。なお重力加速度の大きさを g とし、回路において抵抗器以外の抵抗は無視でき、回路を流れる電流がつくる磁場の影響は無視できるものとする。

まず、金属棒を動かないように固定する。このとき、回路を流れる電流 I は である。また金属棒が磁場から受ける力の大きさ F は であり、向きは である。ここで、金属棒の固定を静かに外した。金属棒が受ける力 F が糸の張力を通しておもりに働いていることを考えると、固定を外した直後のおもりに対する運動方程式は $ma =$ となる。起電力 E が という条件を満たす場合、おもりは落下を始めることになる。

さて、おもりが、すなわち金属棒が動き始めると、磁場中の運動であるため起電力が生じる。いまおもりが落下を始めたとしよう。図の電流の向きを正とすると、金属棒に生じた起電力 V は である。そのため、回路を流れる電流 I は し、 $I =$ となる。このときおもりの加速度は $a =$ である。とすると、 v が小さいうちは加速度は正のままであるため v は していくが、加速度は していくことになる。十分時間がたつと、加速度が になり、速度は となることがわかる。電流は となった。

こんどは電源の電圧を変え、先と同様に金属棒を固定せず静止した状態から静かにはなすと、おもりが上昇を始めた。十分時間がたつと、速度は になり、電流は となった。このとき、おもりは していた。

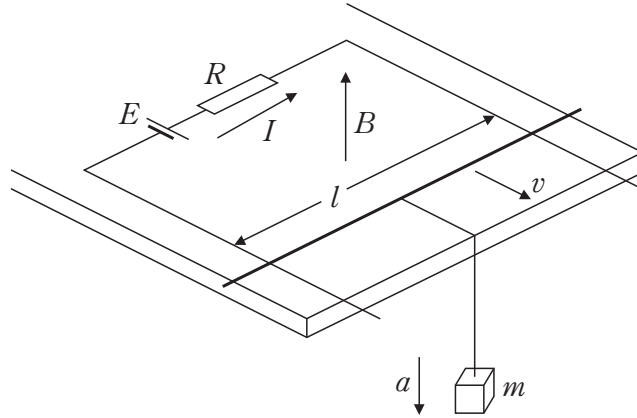


図 3

空欄 の解答群

- ① RE ② $\frac{E}{R}$ ③ $\frac{R}{E}$ ④ $\frac{1}{RE}$

空欄 の解答群

- ① 0 ② IBl ③ $\frac{I}{Bl}$ ④ $\frac{Bl}{I}$ ⑤ $\frac{1}{IBl}$
- ⑥ $-IBl$ ⑦ $-\frac{I}{Bl}$ ⑧ $-\frac{Bl}{I}$ ⑨ $-\frac{1}{IBl}$

空欄 の解答群

- ① 電源に近づく向き ② 電源から遠ざかる向き

空欄 の解答群

- ① mg ② $mg - IBl$ ③ $mg - \frac{I}{Bl}$
- ④ $mg - \frac{Bl}{I}$ ⑤ $mg - \frac{1}{IBl}$ ⑥ $mg + IBl$
- ⑦ $mg + \frac{I}{Bl}$ ⑧ $mg + \frac{Bl}{I}$ ⑨ $mg + \frac{1}{IBl}$

空欄 ノ の解答群

- ① $E > \frac{mg}{BlR}$ ② $E > \frac{mgR}{Bl}$ ③ $E > \frac{BlR}{mg}$ ④ $E > \frac{Bl}{mgR}$
⑤ $E < \frac{mg}{BlR}$ ⑥ $E < \frac{mgR}{Bl}$ ⑦ $E < \frac{BlR}{mg}$ ⑧ $E < \frac{Bl}{mgR}$

空欄 あ の解答群

- ① 0 ② vBl ③ $\frac{v}{Bl}$ ④ $\frac{Bl}{v}$ ⑤ $\frac{1}{vBl}$
⑥ $-vBl$ ⑦ $-\frac{v}{Bl}$ ⑧ $-\frac{Bl}{v}$ ⑨ $-\frac{1}{vBl}$

空欄 い , お , か の解答群

- ① 増加 ② 減少

空欄 う の解答群

- ① 0 ② $ER + vBlR$ ③ $\frac{E}{R} + \frac{vBl}{R}$
④ $ER + \frac{BlR}{v}$ ⑤ $\frac{E}{R} + \frac{Bl}{vR}$ ⑥ $ER - vBlR$
⑦ $\frac{E}{R} - \frac{vBl}{R}$ ⑧ $ER - \frac{BlR}{v}$ ⑨ $\frac{E}{R} - \frac{Bl}{vR}$

空欄 え の解答群

- ① $g + \frac{BLE}{mR} + \frac{B^2 l^2 v}{mR}$ ② $g + \frac{BLE}{mR} - \frac{B^2 l^2 v}{mR}$ ③ $g - \frac{BLE}{mR} + \frac{B^2 l^2 v}{mR}$
④ $g - \frac{BLE}{mR} - \frac{B^2 l^2 v}{mR}$ ⑤ $g + \frac{BlER}{m} + \frac{B^2 l^2 R}{mv}$ ⑥ $g + \frac{BlER}{m} - \frac{B^2 l^2 R}{mv}$
⑦ $g - \frac{BlER}{m} + \frac{B^2 l^2 R}{mv}$ ⑧ $g - \frac{BlER}{m} - \frac{B^2 l^2 R}{mv}$

空欄 き の解答群

- ① 正 ② 0 ③ 負

空欄 と の解答群

- ① $\frac{R}{Bl} \left(\frac{mg}{Bl} + \frac{E}{R} \right)$ ② $-\frac{R}{Bl} \left(\frac{mg}{Bl} + \frac{E}{R} \right)$ ③ $\frac{R}{Bl} \left(\frac{mg}{Bl} - \frac{E}{R} \right)$
④ $-\frac{R}{Bl} \left(\frac{mg}{Bl} - \frac{E}{R} \right)$ ⑤ $\frac{Bl}{R} \left(\frac{mg}{Bl} + \frac{E}{R} \right)$ ⑥ $-\frac{Bl}{R} \left(\frac{mg}{Bl} + \frac{E}{R} \right)$
⑦ $\frac{Bl}{R} \left(\frac{mg}{Bl} - \frac{E}{R} \right)$ ⑧ $-\frac{Bl}{R} \left(\frac{mg}{Bl} - \frac{E}{R} \right)$ ⑨ 0

空欄 と の解答群

- ① $\frac{mg}{Bl}$ ② $mgBl$ ③ $\frac{Bl}{mg}$ ④ $\frac{1}{mgBl}$
⑤ $-\frac{mg}{Bl}$ ⑥ $-mgBl$ ⑦ $-\frac{Bl}{mg}$ ⑧ $-\frac{1}{mgBl}$

空欄 の解答群

- ① 上昇 ② 下降 ③ 静止

〔以下計算用余白〕

Ⅲ 次の各文中の空欄 ～ に入れるのに最も適当なものを、それぞれの解答群から選び、その番号をマークせよ。同じ解答群から複数選択する場合は、同じ解答を2回以上選んでもよい。

- (1) 水銀気圧計について考察しよう。長さ1 m 程度ガラス管に水銀を詰め、水銀をためた桶^{おけ}に逆さに立てると、図4のように、ガラス管の水銀は少し沈み、先端に真空の領域ができる。さて、液体中では、同じ深さではどの方向にも同じ大きさの圧力がかかる。そのため、ガラス管中の水銀についても、桶に入れた水銀の表面と同じ高さにある水銀は、圧力は等しい。桶の表面の水銀にかかる圧力は、当然ながら大気圧 P に等しいので、ガラス管中の水銀についても、桶の液面と同じ高さにある水銀にかかる圧力は P である。そこで、ガラス管中の水銀のうち、桶の水銀の液面と同じ高さよりも上にある水銀について力のつりあいを見てみよう。以下、この部分の水銀を水銀柱と呼ぶことにする。また水銀の密度を ρ 、水銀柱の質量と高さをそれぞれ m と h 、ガラス管の断面積を S 、重力加速度の大きさを g とする。

圧力は単位面積当たりの力であるから、水銀柱を下から押し上げる力は である。水銀柱の上側は真空であるため、力は及ぼされない。そのため、水銀柱における力のつりあいは と表される。ここで水銀柱の質量 m を密度 ρ を用いて表すと であるから、力のつりあいの式から圧力は $P =$ と表すことができる。したがって、水銀柱の高さ h を測定すれば、ただちに大気圧 P が求まることになる。これが水銀気圧計の原理である。

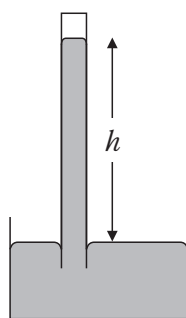


図4

空欄 の解答群

① P

② PS

③ $\frac{P}{S}$

空欄 せ の解答群

- ① $mg = P$ ② $mg = PS$ ③ $mg = \frac{P}{S}$

空欄 そ の解答群

- ① ρh ② $\frac{\rho}{h}$ ③ ρS ④ $\frac{\rho}{S}$
⑤ ρSh ⑥ $\frac{\rho S}{h}$ ⑦ $\frac{\rho h}{S}$ ⑧ $\frac{\rho}{Sh}$

空欄 た の解答群

- ① ρgh ② $\frac{\rho g}{h}$ ③ $\frac{1}{\rho g Sh}$ ④ $\frac{h}{\rho g S}$
⑤ $\rho g Sh$ ⑥ $\frac{\rho g S}{h}$ ⑦ $\frac{\rho gh}{S}$ ⑧ $\frac{\rho g}{Sh}$

- (2) ガラス管に刻まれた目盛りを用いて実際に測定してみたところ、 $h = 76.20 \text{ cm}$ であった。 $\rho = 13.60 \text{ g/cm}^3$ 、 $g = 9.800 \text{ m/s}^2$ とすると、大気圧 P は ち hPa となる。なお $1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa}$ である。

空欄 ち の解答群（もっとも近い数値を選ぶこと）

- ① 1.016 ② 10.16 ③ 101.6 ④ 1016 ⑤ 10160 ⑥ 101600

- (3) ところが、現実にはもう少し複雑である。水銀も、水銀柱の高さを測るものさしも、気温によって膨張・収縮をするからである。ものさしは、 0°C のときの長さを L_0 とすると、温度 t のときは長さが $L = L_0(1 + \alpha t)$ と伸びる（温度 t は摂氏で測るものとする）。ここで α は線膨張率と呼ばれる。このものさしは 0°C のときに正しく高さを測定できるとすると、(1) で読み取った水銀柱の高さ h と 0°C のときに測定される水銀柱の本当の高さ h' の間の関係は $h' =$ つ となる。た の式に現れる h は、 h' に置き換えなければならない。

また、水銀の体積は、 0°C のときの体積を V_0 として、温度 t では $V = V_0(1 + \beta t)$ と書ける。ここで β は体膨張率と呼ばれる。(2) で示した水銀の密度は $t = 0^\circ\text{C}$ のときのものなので、温度が変化すると密度も変化する。温度 t のときの水銀の密度 ρ' は、 0°C のときの密度 ρ を用いて て と書ける。た の式に現れる ρ は、実際は ρ' のはずである。そこで、て を用いれば、温度 t を測定することで、

0℃での水銀の密度を用いて大気圧を求める式を補正できる。

以上を用いると、大気圧を求める式は $P =$ $\times$ のように変更される。

具体的に計算してみよう。 $\alpha = 1.840 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, $\beta = 1.818 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ であるため、その影響は小さいが、精密な測定では重要になる。ただし、ものさしの膨張は水銀の膨張に比べるとごくわずかであるため、水銀の膨張のみ考慮しよう。すると、 $t = 25^{\circ}\text{C}$ のとき、正しい大気圧は hPa となり、(1)で求めた気圧に対し補正が必要なことがわかる。なお実際には、測定地点の緯度の違いによる g の違いの補正も行い、さらに天気図に記載するためには海拔 0 m での値に変換する（海面更正と言う）必要がある。このように、測定から正しい値を得るためには様々な補正が必要なことがわかる。

空欄 の解答群

- ① $h\alpha t$ ② $\frac{h}{\alpha t}$ ③ $h(1 + \alpha t)$ ④ $\frac{h}{1 + \alpha t}$

空欄 の解答群

- ① $\rho\beta t$ ② $\frac{\rho}{\beta t}$ ③ $\rho(1 + \beta t)$ ④ $\frac{\rho}{1 + \beta t}$

空欄 の解答群

- ① $(1 + \alpha t)(1 + \beta t)$ ② $\frac{1 + \alpha t}{1 + \beta t}$
③ $\frac{1 + \beta t}{1 + \alpha t}$ ④ $\frac{1}{(1 + \alpha t)(1 + \beta t)}$

空欄 の解答群（もっとも近い数値を選ぶこと）

- ① 1.011 ② 10.11 ③ 101.1 ④ 1011 ⑤ 10110 ⑥ 101100

（以上で問題は終わりです。解答記号 以降は使用しません。）